

**NITRIDE SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT, METHOD FOR MANUFACTURING THE SAME, AND OPTICAL DEVICE MOUNTING THE SAME**

Patent Number: JP2004087908  
Publication date: 2004-03-18  
Inventor(s): TSUDA YUZO; UEDA YOSHIHIRO; YUASA TAKAYUKI; ITO SHIGETOSHI  
Applicant(s): SHARP CORP  
Requested Patent: ☐ JP2004087908  
Application Number: JP20020248508 20020828  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01S5/343; H01L21/205; H01L33/00; H01S5/20; H01S5/323  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a nitride semiconductor light-emitting element which improves emission efficiency and has low threshold current density.

**SOLUTION:** The nitride semiconductor light-emitting element is provided with a light guide layer 14 of n-type GaN, a light-emitting layer 15 and a carrier block layer 16 of p-type AlGaIn. The light-emitting layer 15 has a structure, wherein a barrier layer 30a, a well layer 31, a barrier layer 30b, a well layer 31, a barrier layer 30b, a well layer 31 and a barrier layer 30c are stacked in this order. The well layer 31 is an InGaIn layer, without being doped with impurities. At least the barrier layer 30b sandwiched between the well layers 31 includes an InGaIn layer 33b, having an In composition ratio different from that of the well layer 31 and includes a GaIn layer 32b, with the InGaIn layer 33b in contact with one well layer 31 and the GaIn layer 32b in contact with the other well layer 31.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-87908

(P2004-87908A)

(43) 公開日 平成16年3月18日(2004.3.18)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	F I	テーマコード (参考)
H01S 5/343	H01S 5/343 610	5F041
H01L 21/205	H01L 21/205	5F045
H01L 33/00	H01L 33/00 C	5F073
H01S 5/20	H01S 5/20 610	
H01S 5/323	H01S 5/323 610	
審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 14 頁)		

(21) 出願番号 特願2002-248508 (P2002-248508)  
 (22) 出願日 平成14年8月28日(2002.8.28)

(71) 出願人 000005049  
 シャープ株式会社  
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号  
 (74) 代理人 100085501  
 弁理士 佐野 静夫  
 (74) 代理人 100111811  
 弁理士 山田 茂樹  
 (74) 代理人 100121256  
 弁理士 小寺 淳一  
 (72) 発明者 津田 有三  
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号  
 シャープ株式会社内  
 (72) 発明者 上田 吉裕  
 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号  
 シャープ株式会社内

最終頁に続く

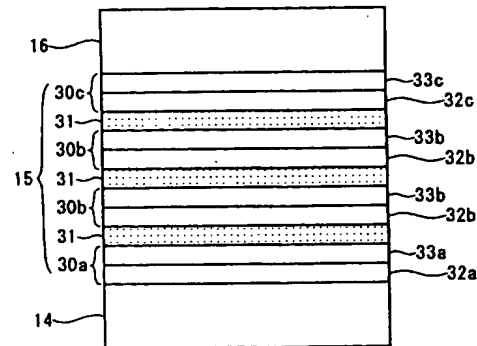
(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子、その製造方法、それを搭載した光学装置

## (57) 【要約】

【課題】 発光効率を向上させるとともに、閾値電流密度の低い窒化物半導体発光素子を提供することである。

【解決手段】 窒化物半導体発光素子は、n型Ga<sub>0.9</sub>N光ガイド層14と、発光層15と、p型AlGa<sub>0.3</sub>Nキャリアブロック層16とを含み、発光層15は、障壁層30a/井戸層31/障壁層30b/井戸層31/障壁層30cの順に積層されている。そして、井戸層31は、不純物がドーピングされていないInGa<sub>0.5</sub>N層であり、少なくとも井戸層31に挟まれた障壁層30bは、井戸層31のIn組成比と異なるInGa<sub>0.5</sub>N層33bと、Ga<sub>0.5</sub>N層32bとを含み、InGa<sub>0.5</sub>N層33bが一方の井戸層31に接し、Ga<sub>0.5</sub>N層32bがもう一方の井戸層に接する構成とする。

【選択図】 図2



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

n 型不純物がドーピングされた n 型窒化物半導体層と、複数の井戸層と該井戸層よりもバンドギャップエネルギーの高い複数の障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造である発光層と、p 型不純物がドーピングされた p 型窒化物半導体層とからなり、前記 n 型窒化物半導体層と前記発光層と前記 p 型窒化物半導体層とが順に積層された窒化物半導体発光素子において、

前記井戸層は、不純物がドーピングされていない InGa<sub>1-x</sub>N 層であり、

少なくとも前記井戸層に挟まれた障壁層は、前記井戸層の In 組成比と異なる InGa<sub>1-x</sub>N 層と、Ga<sub>1-x</sub>N 層とを含み、該 InGa<sub>1-x</sub>N 層が一方の前記井戸層に接し、該 Ga<sub>1-x</sub>N 層がもう一方の前記井戸層に接することを特徴とする窒化物半導体発光素子。

10

## 【請求項 2】

前記障壁層の InGa<sub>1-x</sub>N 層が接する一方の井戸層は、前記 p 型窒化物半導体側の井戸層であり、

前記障壁層の Ga<sub>1-x</sub>N 層が接するもう一方の井戸層は、前記 n 型窒化物半導体層側の井戸層であることを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体発光素子。

## 【請求項 3】

前記障壁層の InGa<sub>1-x</sub>N 層には不純物がドーピングされておらず、前記障壁層の Ga<sub>1-x</sub>N 層には n 型不純物がドーピングされていることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の窒化物半導体発光素子。

20

## 【請求項 4】

前記障壁層は、InGa<sub>1-x</sub>N 層と Ga<sub>1-x</sub>N 層とが積層された 2 層構造であることを特徴とする請求項 1～3 の何れかに記載の窒化物半導体発光素子。

## 【請求項 5】

前記 Ga<sub>1-x</sub>N 層の厚みは、前記障壁層の InGa<sub>1-x</sub>N 層の厚みと等しいかそれよりも薄いことを特徴とする請求項 1～4 の何れかに記載の窒化物半導体発光素子。

## 【請求項 6】

前記障壁層の厚みは、5 nm 以上 12 nm 以下であることを特徴とする請求項 1～5 の何れかに記載の窒化物半導体発光素子。

30

## 【請求項 7】

前記井戸層の厚みは、2 nm 以上 7 nm 以下であることを特徴とする請求項 1～6 の何れかに記載の窒化物半導体発光素子。

## 【請求項 8】

前記障壁層の InGa<sub>1-x</sub>N 層は In<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0 < x ≤ 0.1) であり、且つ前記井戸層は In<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N (x < y ≤ 0.18) であることを特徴とする請求項 1～7 の何れかに記載の窒化物半導体発光素子。

## 【請求項 9】

前記 n 型窒化物半導体層、前記発光層、前記 p 型窒化物半導体層の少なくとも何れかに、As 又は P 元素を含むことを特徴とする請求項 1～8 の何れかに記載の窒化物半導体発光素子。

40

## 【請求項 10】

請求項 1～9 の何れかに記載の窒化物半導体発光素子を搭載した光学装置。

## 【請求項 11】

n 型不純物がドーピングされた n 型窒化物半導体層と、複数の井戸層と該井戸層よりもバンドギャップエネルギーの高い複数の障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造である発光層と、p 型不純物がドーピングされた p 型窒化物半導体層とからなり、前記 n 型窒化物半導体層と前記発光層と前記 p 型窒化物半導体層とが順に積層され、前記井戸層は、不純物がドーピングされていない InGa<sub>1-x</sub>N 層であり、少なくとも前記井戸層に挟まれた障壁層は、前記井戸層の In 組成比と異なる InGa<sub>1-x</sub>N 層と、Ga<sub>1-x</sub>N 層とを含み、該 InGa<sub>1-x</sub>N 層が一方の前記井戸層に接し、該 Ga<sub>1-x</sub>N 層がもう一方の前記井戸層に接する窒化物半導体発光素子

50

の製造方法であって、

前記障壁層のGa<sub>2</sub>N層を積層する工程の成長温度が、同じ障壁層のInGa<sub>2</sub>N層を積層する工程の成長温度と等しいか、それよりも150℃までの範囲内で高い成長温度であることを特徴とする窒化物半導体発光素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、窒化物半導体発光素子に関し、詳しくはn型不純物がドーピングされたn型窒化物半導体層と、複数の井戸層と該井戸層よりもバンドギャップエネルギーの高い複数の障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造である発光層と、p型不純物がドーピングされたp型窒化物半導体層とからなり、前記n型窒化物半導体層と前記発光層と前記p型窒化物半導体層とが順に積層された窒化物半導体発光素子に関するものである。なお、本明細書で説明する窒化物半導体とは、 $Al_xGa_yIn_zN$  ( $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ 、 $0 \leq z \leq 1$ 、 $x+y+z=1$ ) で構成される。また、この窒化物半導体において、その結晶構造が六方晶系であれば、少量のAs、又はP元素が置換されていても構わない。

【0002】

【従来の技術】

窒化物半導体は、高輝度青色LED (Light Emitting Diode)、純緑色LEDの材料として用いられ、フルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源に実用化されている。また、青紫色半導体レーザ素子の材料としても用いられ、光ディスクの情報読み出し／書き込み用光源等への応用も期待されている。

【0003】

このような窒化物半導体を用いた窒化物半導体レーザ素子の構成が、例えば、Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) pp. L647-L650に開示されている。この文献には、アンドープ (不純物を含まない) の $In_{0.15}Ga_{0.85}N$  からなる4nmの井戸層とn型不純物としてSiがドーピングされた $In_{0.02}Ga_{0.98}N$  からなる10nmの障壁層とが積層してなる多重量子井戸構造の活性層を有する窒化物半導体レーザ素子が記載されている。

【0004】

このように構成された窒化物半導体レーザ素子の発光層のバンドダイヤグラムを図11に示す。図11において、100がn型窒化物半導体層、101がp型窒化物半導体層、102が井戸層、103が障壁層、104が発光層を示している。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、発光層となる活性層にSi等の不純物をドーピングすることによって、活性層内でのフリーキャリア散乱の増加や結晶性の悪化を招くため、半導体レーザ素子等においては、発生する光出力の低下の原因となる。従って、発光効率が低下し、閾値電流密度が高くなってしまう。

【0006】

本発明は、上記の問題点に鑑み、発光効率を向上させるとともに、閾値電流密度の低い窒化物半導体発光素子を提供することを目的とする。また、この窒化物半導体発光素子を搭載した光学装置を提供することを目的とする。更に、この窒化物半導体発光素子の製造方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

上記目的を達成するために本発明の窒化物半導体発光素子は、n型不純物がドーピングされたn型窒化物半導体層と、複数の井戸層と該井戸層よりもバンドギャップエネルギーの高い複数の障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造である発光層と、p型不純物がドーピングされたp型窒化物半導体層とからなり、前記n型窒化物半導体層と前記発光層と前記p型

10

20

30

40

50

窒化物半導体層とが順に積層された窒化物半導体発光素子において、前記井戸層は、不純物がドーピングされていないInGa<sub>1-x</sub>N層であり、少なくとも前記井戸層に挟まれた障壁層は、前記井戸層のIn組成比と異なるInGa<sub>1-x</sub>N層と、Ga<sub>1-x</sub>N層とを含み、該InGa<sub>1-x</sub>N層が一方の前記井戸層に接し、該Ga<sub>1-x</sub>N層がもう一方の前記井戸層に接することを特徴とするものである。

【0008】

この構成によると、発光効率を向上させるとともに、閾値電流密度の低い窒化物半導体発光素子を提供することができる。

【0009】

上記の窒化物半導体発光素子において、前記障壁層のInGa<sub>1-x</sub>N層が接する一方の井戸層を前記p型窒化物半導体側の井戸層とし、前記障壁層のGa<sub>1-x</sub>N層が接するもう一方の井戸層を前記n型窒化物半導体層側の井戸層とすることにより、更に発光効率の向上と低閾値電流密度化が可能である。

【0010】

また、前記障壁層のInGa<sub>1-x</sub>N層には不純物をドーピングせず、前記障壁層のGa<sub>1-x</sub>N層にはn型不純物をドーピングすることが、低閾値電流密度化を実現する上で好適である。

【0011】

また、前記障壁層は、InGa<sub>1-x</sub>N層とGa<sub>1-x</sub>N層とが積層された2層構造とすることができる。

【0012】

また、前記Ga<sub>1-x</sub>N層の厚みは、前記障壁層のInGa<sub>1-x</sub>N層の厚みと等しいかそれよりも薄いことが好ましい。そして、前記障壁層の厚みは、5nm以上12nm以下であることが好ましい。更に、前記井戸層の厚みは、2nm以上7nm以下であることが好ましい。

【0013】

また、前記障壁層のInGa<sub>1-x</sub>N層はIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N (0 < x ≤ 0.1) であり、且つ前記井戸層はIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N (x < y ≤ 0.18) であることが好ましい。

【0014】

更に、前記n型窒化物半導体層、前記発光層、前記p型窒化物半導体層の少なくとも何れかに、As又はP元素を含んでもよい。

【0015】

また本発明の光学装置は、上記の窒化物半導体発光素子を搭載したものである。

【0016】

また本発明の窒化物半導体発光素子の製造方法は、n型不純物がドーピングされたn型窒化物半導体層と、複数の井戸層と該井戸層よりもバンドギャップエネルギーの高い複数の障壁層とが積層されてなる多重量子井戸構造である発光層と、p型不純物がドーピングされたp型窒化物半導体層とからなり、前記n型窒化物半導体層と前記発光層と前記p型窒化物半導体層とが順に積層され、前記井戸層は、不純物がドーピングされていないInGa<sub>1-x</sub>N層であり、少なくとも前記井戸層に挟まれた障壁層は、前記井戸層のIn組成比と異なるInGa<sub>1-x</sub>N層と、Ga<sub>1-x</sub>N層とを含み、該InGa<sub>1-x</sub>N層が一方の前記井戸層に接し、該Ga<sub>1-x</sub>N層がもう一方の前記井戸層に接する窒化物半導体発光素子の製造方法であって、前記障壁層のGa<sub>1-x</sub>N層を積層する工程の成長温度が、同じ障壁層のInGa<sub>1-x</sub>N層を積層する工程の成長温度と等しいか、それよりも150℃までの範囲内で高い成長温度であることを特徴とするものである。

【0017】

この製造方法によると、障壁層に含まれるGa<sub>1-x</sub>N層は、同じ障壁層に含まれるInGa<sub>1-x</sub>N層の結晶性を悪化させずに且つGa<sub>1-x</sub>N層の結晶性もある程度損なわない温度範囲で成長させられるので、発光効率の低下と閾値電流密度の増大を抑えることができる。

【0018】

【発明の実施の形態】

（窒化物半導体発光素子の構成）

10

20

30

40

50

図1は、窒化物半導体発光素子の構成を示す概略断面図である。窒化物半導体発光素子10は、(0001)面n型GaN基板11の表面上に、n型GaN層12、n型AlGaNクラッド層13、n型GaN光ガイド層14、発光層15、p型AlGaNキャリアブロック層16、p型GaN光ガイド層17、p型AlGaNクラッド層18、p型GaNコンタクト層19が順に積層されて構成される。

【0019】

更に、このように各窒化物半導体層が積層されて構成された窒化物半導体発光素子10は、p型AlGaNクラッド層18の上側部分及びp型GaNコンタクト層19がストライプ状のリッジ構造とされ、このリッジ構造の両側にSiO<sub>2</sub>誘電体膜20が設けられる。そして、n型GaN基板11の裏面にn電極21が設けられるとともに、p型GaNコンタクト層19及びSiO<sub>2</sub>誘電体膜20の表面にp電極22が設けられる。

10

【0020】

この窒化物半導体発光素子10はMOCVD法(有機金属気相成長法)によって、窒化物半導体からなる積層構造をGaN基板11表面上に形成することで作製される。

【0021】

まず、MOCVD装置を用いてn型GaN基板11上にV族原料のNH<sub>3</sub>とIII族原料のTMGa(トリメチルガリウム)又はTEGa(トリエチルガリウム)にSiH<sub>4</sub>を加え、1050℃の成長温度でn型GaN層12の下地層を1μm形成する。このn型GaN層12はn型GaN基板11の表面モフォロジーの改善と研磨によるn型GaN基板11の表面に残留した応力歪みを緩和させてエピタキシャル成長に相応しい最表面を形成するためのものである。

20

【0022】

次に、TMAI(トリメチルアルミニウム)又はTEAI(トリエチルアルミニウム)のIII族原料を用いて、厚さ1.2μmのn型AlGaNクラッド層13(Si不純物濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )を成長させ、続いて厚さ0.1μmのn型GaN光ガイド層14(Si不純物濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )を成長させる。ここで、n型AlGaNクラッド層13のAl組成比は0.07とする。

【0023】

その後、基板温度を800℃に下げて発光層15を形成する。発光層15は、厚さ4nmのアンドープのIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N井戸層と、厚さ4nmのSiがドーピングされたGaN層(Si不純物濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )及び厚さ4nmのアンドープのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層からなる障壁層とが交互に3周期積層された多重量子井戸構造を有している。即ち、障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層の順で積層されている。

30

【0024】

なお、上記の多重量子井戸構造は障壁層を発光層15の最外層としているが、井戸層/障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/障壁層/井戸層のように、発光層15の最外層を井戸層としてもよい。また、井戸層は10層以下であれば後述する閾値電流密度が低く、室温連続発振が可能である。

【0025】

次に、基板温度を再び1050℃まで上昇させて、厚さ20nmのp型AlGaNキャリアブロック層16、厚さ0.1μmのp型GaN光ガイド層17、厚さ0.5μmのp型AlGaNクラッド層18、厚さ0.1μmのp型GaNコンタクト層19を順次成長させる。ここで、p型AlGaNキャリアブロック層16のAl組成比は0.3、p型AlGaNクラッド層18のAl組成比は0.1とする。また、p型不純物としてはMg(EtCP<sub>2</sub>Mg:ビスエチルシクロペンタジエチルマグネシウム)を用いる。

40

【0026】

続いて、上記のように成長したエピウエハーをMOCVD装置から取り出し、電極を形成する。ここで、n電極21はエピウエハーの裏面にHf/Alの順に形成され、n型電極パッドとしてAuが蒸着される。なお、n電極材料としては、他にTi/Al、Ti/M

50

o、Hf/Au等を用いることができる。

【0027】

一方、p型AlGa<sub>N</sub>クラッド層18及びp型Ga<sub>N</sub>コンタクト層19はストライプ状にエッチングされ、リッジストライプ部が形成される。このリッジストライプ部の幅は1.7μmである。そして、SiO<sub>2</sub>誘電体膜20が200nm蒸着され、p型Ga<sub>N</sub>コンタクト層19が露出される。その後、p電極22がPd(15nm)/Mo(15nm)/Au(200nm)の順に蒸着形成される。

【0028】

なお、窒化物半導体発光素子10に使用される各層のAl組成比は上記以外の組成比を用いてもよいし、Ga<sub>N</sub>/AlGa<sub>N</sub>からなる超格子を用いてもよい。

10

【0029】

また、上記においては、基板としてGa<sub>N</sub>基板11を用いているが、他にAlGa<sub>N</sub>基板、Si基板の(111)面、サファイア基板上に形成されたELOG(Epitaxially laterally overgrown Ga<sub>N</sub>)基板、Ga<sub>N</sub>基板上に形成されたELOG基板、Si(111)面上に形成されたELOG基板等を用いてもよい。ELOG基板を用いる場合には、成長抑制膜(例えば、SiO<sub>2</sub>膜)の幅の中央上方、及び成長抑制膜が形成されていない領域の幅の中央上方に、窒化物半導体発光素子10のリッジストライプ部分又はその電流狭窄部分が含まれないように作製される。これにより、素子の発振寿命を長寿命化することができる。

20

【0030】

上記の窒化物半導体発光素子10は、窒化物半導体レーザ素子、発光ダイオード、スーパーミネッセントダイオード等に適用することができる。

【0031】

〈従来の窒化物半導体発光素子との比較〉

従来の窒化物半導体発光素子の性能と比較実験するために、本発明の窒化物半導体発光素子10の実施例として2つの構成の窒化物半導体レーザ素子を作製した。何れの素子も図1の発光層15の構成を変化させたものである。1つ目の窒化物半導体レーザ素子(以下、タイプAと称す)の発光層15の断面図を図2に示す。

【0032】

図2ではn型Ga<sub>N</sub>光ガイド層14の上に、障壁層30a/井戸層31/障壁層30b/井戸層31/障壁層30b/井戸層31/障壁層30cの順に積層されてなる発光層15が形成されている。

30

【0033】

ここで、井戸層31はアンドープのIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N層である。また、障壁層30a、30b、30cはそれぞれ2層構造である。障壁層30a、30b、30cのn型Ga<sub>N</sub>光ガイド層14側にはn型Ga<sub>N</sub>層32a、32b、32cが形成され、p型AlGa<sub>N</sub>キャリアブロック層16側にはIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層33a、33b、33cが形成される。

【0034】

次に、2つ目の窒化物半導体レーザ素子(以下、タイプBと称す)の発光層15の断面図を図3に示す。

40

【0035】

図3ではn型Ga<sub>N</sub>光ガイド層14の上に、障壁層30a/井戸層31/障壁層30b/井戸層31/障壁層30b/井戸層31/障壁層30cの順に積層されてなる発光層15が形成されている。

【0036】

ここで、井戸層31はアンドープのIn<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>N層である。また、障壁層30a、30b、30cはそれぞれ2層構造である。障壁層30a、30b、30cのn型Ga<sub>N</sub>光ガイド層14側にはIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層33a、33b、33cが形成され、p型AlGa<sub>N</sub>キャリアブロック層16側にはn型Ga<sub>N</sub>層32a、32b、

50

32cが形成される。

【0037】

このように、タイプAとタイプBとの違いは、障壁層30a、30b、30cを構成する2層の積層順序が逆になっていることである。

【0038】

なお、発光層15の最外層である障壁層30a、30cは、井戸層31によって挟まれていないため、必ずしもn型GaN層32a、32cやIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>N層33a、33cとする必要はない。しかしながら、最外層の障壁層30a、30cも上記の構成とすることにより、本発明の効果が得られやすくなる。

【0039】

また、実験の結果、InGaN層33cとp型AlGaNキャリアブロック層16との間に、アンドープのInGaN層、アンドープのGaN層、アンドープのAlGaN層、SiがドーピングされたGaN層、又はSiがドーピングされたAlGaN層を7nm以上35nm以下の厚みで挿入することが、閾値電流密度の低減のために好ましいことがわかった。p型AlGaNキャリアブロック層16のAl組成比が高いことによる結晶性の低下が転位を発生させ、それを通してMgが発光層15に拡散するものと考えられる。従って、上記の層を挿入することによって、p型層からのMgが発光層15に拡散することを防止できる。また、これらの層を挿入することによって、p-nジャンクションの位置がずれないように調整することもできるため、歩留まりが向上する。

【0040】

図4は、タイプAの窒化物半導体レーザ素子の発光層15のバンドダイヤグラムであり、図5は、タイプBの窒化物半導体レーザ素子の発光層15のバンドダイヤグラムである。図4、図5より明らかなように、n型GaN層32a、32b、32c、InGaN層33a、33b、33c、井戸層31の順にバンドギャップエネルギーが小さくなっていることがわかる。

【0041】

次に、これらタイプA及びタイプBの窒化物半導体レーザ素子と、従来例で示した図11の窒化物半導体レーザ素子とのLEDモードにおけるEL発光強度の測定結果について説明する。測定に用いた注入電流密度は0.67kAcm<sup>-2</sup>である。

【0042】

図6に、EL発光スペクトルを示す。各窒化物半導体レーザ素子の発光強度の最大値は、タイプAが22.3、タイプBが15.4、従来型が13.6であった。それぞれ比較すると、タイプBは従来型の約1.1倍であり、タイプAは従来型の約1.6倍の発光強度となっている。なお、従来型の障壁層をn型InGaN層からn型GaN層に変更して実験しても、そのEL発光強度はほぼ同じ値であった。

【0043】

このような実験結果から、窒化物半導体レーザ素子の発光効率（EL発光強度に比例）を向上させるためには、発光層15に用いられる障壁層30a、30b、30cが少なくともInGaN層（但し、井戸層のIn組成比と異なる）とGaN層を含む必要があるという知見が得られた。

【0044】

更に、発光層15の構成（タイプA、タイプB）に着目すると、そのn型GaN層32a、32b、32c、及びInGaN層33a、33b、33cの形成位置も重要であることがわかる。EL発光強度の測定結果から、タイプAのEL発光強度はタイプBの約1.4倍となっていることがわかる。

【0045】

しかしながら、このようにタイプA、タイプBの違いによりEL発光強度が向上する理由はあきらかではない。推測によれば、発光層15の上に比較的Al組成比の高い（15%以上40%未満）p型AlGaNキャリアブロック層16が近接して積層されており、このp型AlGaNキャリアブロック層16からの歪みが、タイプAやタイプBの障壁層30a、30b、30cの形成位置に依存して異なるため、タイプAのEL発光強度がタイプBよりも高くなるものと考えられる。

10

20

30

40

50



0 a、3 0 b、3 0 c の構造を有することによって適度に緩和されているのではないかと考えられる。

【0 0 4 6】

また、窒化物半導体は他の III-V 族半導体とは異なり、窒化物半導体特有の非常に強い自発分極とピエゾ電解を有している（特に AlGaIn）。そのため、発光層 1 5 のバンド構造が歪んで電子とホール这对が形成されにくくなっていると考えられる。そこで、はじめから発光層 1 5 のバンド構造を傾けることによって、バンド構造の歪みが加わった状態でも電子とホールの形成が容易になるのではないかと考えられる。従って、タイプ A とタイプ B の EL 発光強度が異なるのではないかと考える。

【0 0 4 7】

〈障壁層中の InGaIn 層と GaIn 層の不純物のドーピング〉

本発明において、障壁層 3 0 a、3 0 b、3 0 c 中の InGaIn 層 3 3 a、3 3 b、3 3 c と GaIn 層 3 2 a、3 2 b、3 2 c には、不純物がドーピングされていてもよいし、されていなくても構わない。しかしながら、実験結果によれば、障壁層 3 0 a、3 0 b、3 0 c に全く不純物をドーピングしない場合、EL 発光強度は非常に弱かった。これは、十分なキャリアが井戸層 3 1 に注入されていないためではないかと考えられる。

【0 0 4 8】

従って、少なくとも障壁層 3 0 a、3 0 b、3 0 c 中の InGaIn 層 3 3 a、3 3 b、3 3 c と GaIn 層 3 2 a、3 2 b、3 2 c のうち何れかの層に不純物をドーピングすることが好ましい。更に好ましい障壁層 3 0 a、3 0 b、3 0 c の構成は、不純物を含まない InGaIn 層 3 3 a、3 3 b、3 3 c と n 型の不純物である Si がドーピングされた GaIn 層 3 2 a、3 2 b、3 2 c である。なぜなら、障壁層 3 0 a、3 0 b、3 0 c 全体には不純物がドーピングされないことによって、障壁層 3 0 a、3 0 b、3 0 c 内での自由キャリアによる散乱を低減し、内部損失が増大するのを防いで閾値電流密度を低くすることができるからである。

【0 0 4 9】

また、障壁層 3 0 a、3 0 b、3 0 c 中の GaIn 層 3 2 a、3 2 b、3 2 c は、井戸層 3 1 や障壁層に含まれた InGaIn 層と近い成長温度帯域（井戸層の成長温度に対して +150℃以内）で成長するため、結晶性が悪化しやすい。ところが、Si 等の不純物を GaIn 層 3 2 a、3 2 b、3 2 c にドーピングすると、井戸層 3 1 へのキャリアの注入のみならず、GaIn 層自体の結晶性の改善を行えるので好ましい。なお、Si の濃度は  $1 \times 10^{17} \sim 5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  が好ましい。

【0 0 5 0】

また、窒化物半導体レーザ素子の低閾値電流密度化において、井戸層は不純物を含まない InGaIn から構成されることが好ましい。これは、井戸層内での自由キャリアによる散乱を低減し、内部損失が増大するのを防いで閾値電流密度を低くするためである。

【0 0 5 1】

〈障壁層の製造方法〉

発光層 1 5 の製造において、障壁層に含まれる GaIn 層は、同じ障壁層に含まれる InGaIn 層と同じ成長温度（700～830℃）か、+150℃以内の高い温度で成長させることが好ましい。InGaIn 層の成長温度よりも 150℃を超えた高い成長温度で GaIn 層を成長させると、GaIn 層の結晶性は向上するものの、InGaIn 層が熱によるダメージを受けて結晶性が悪化する。一方、InGaIn 層の成長温度よりも低い成長温度で GaIn 層を成長させると、InGaIn 層の熱によるダメージは減少するが、GaIn 層の結晶性が顕著に悪化してしまう。

【0 0 5 2】

〈発光層の層厚〉

上記のように、障壁層に含まれる GaIn 層は、同じ障壁層に含まれる InGaIn 層の結晶性を悪化させずに且つ GaIn 層の結晶性もある程度損なわない温度範囲で成長させられる。さもなくば、窒化物半導体レーザ素子における発光効率の低下と閾値電流密度の増大を

10

20

30

40

50

引き起こしてしまう。GaN層の結晶性のみを考慮すると上記の成長温度範囲に加えて、ある1つの障壁層に含まれるGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層の全層厚が、同じ障壁層に含まれるInGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層の全層厚と等しいかそれよりも薄くすることが好ましい。即ち、障壁層中に占めるGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層の割合を小さくすることによって、発光層全体の結晶性を上げることができる。

【0053】

具体的に、障壁層の厚みは5nm以上12nm以下であることが好ましい。障壁層の厚みが5nmよりも薄くなると、上述したバンド構造の傾きが弱くなるため好ましくない。一方、障壁層の厚みが12nmよりも厚くなると、バンド構造の傾きが強くなりすぎて、電子とホール空間的な分離が大きくなるとともに、井戸層と井戸層との距離も離れすぎて移動度の小さいホールが各井戸層に注入されにくくなる可能性がある。

10

【0054】

このような状態は、発光再結合の確率の低下に伴う発光効率の低下と、利得の低下に伴う閾値電流密度の増大を招くため好ましくない。

【0055】

また、井戸層の厚みは2nm以上7nm以下であることが好ましい。井戸層の厚みが2nmよりも薄くなると、量子井戸準位が高くなりすぎて、キャリアがしみ出して発光効率が低下するため好ましくない。一方、井戸層の厚みが7nmよりも厚くなると、バンド構造の傾きが弱くなるため好ましくない。バンド構造の傾きによる効果が弱くなると、従来型のバンド構造で生じているバンド歪みが残りと、電子とホールの空間的な分離が大きくなって発光効率の低下を招くおそれがある。

20

【0056】

〈発光層のInGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層のIn組成比〉

発光層には、以下のInGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層を用いることができる。障壁層に含まれるInGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層はIn<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N<sub>1-x</sub> (0 < x ≤ 0.1)を用いることができる。更に好ましくはIn組成比が0 < x ≤ 0.05である。この範囲のIn組成比を選択することにより、発光層のバンド構造を傾けることができ、窒化物半導体レーザ素子の発光効率を向上させることができる。

【0057】

また、InGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>からなる井戸層はIn<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>N<sub>1-y</sub> (x < y ≤ 0.18)を用いることができる。更に好ましくはIn組成比がx < y ≤ 0.1である。実験結果によると、バンド構造を有する窒化物半導体レーザ素子は、従来型のバンド構造を有するそれと比較して、レーザの発振波長（あるいはLEDモードにおける発光波長）が長波長化しやすい。そのため、本発明の井戸層のIn組成比は、従来型のそれと比較して低くする必要がある。

30

【0058】

このように、井戸層に含まれるIn組成比が、従来に比べて低くすることができるため、Inによる偏析を抑えることができる。これにより、In偏析による利得の低下を防ぐことができ、発光効率の向上、及び閾値電流密度を低くすることができる。更には、井戸層の結晶成長温度を上げることができ、しいては障壁層の結晶成長温度も上げられるので、発光層の結晶性が向上する。

40

【0059】

〈障壁層のInGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層とGaN層の構成〉

障壁層の構成は上述したInGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層とGaN層の2層からなる構成が好ましいが、他の構成も考えられる。

【0060】

図7～図9に、他の窒化物半導体レーザ素子の発光層のバンドダイヤグラムを示す。図7、図8は、障壁層30a、30b、30cのInGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層33a、33b、33cとGaN層32a、32b、32cとの間のバンド構造が連続的に変化する構成である。具体的には、InGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層33a、33b、33cの成長中にIn組成比を徐々に変化させることによって連続的にバンド構造を変化させることができる。また、図9は、InGa<sub>1-x</sub>N<sub>x</sub>層

50

3 3 a、3 3 b、3 3 c と GaN 層 3 2 a、3 2 b、3 2 c との間に 1 層の InGaIn 層 3 4 a、3 4 b、3 4 c を挿入した例である。これにより障壁層が 3 層構造となる。具体的には、異なる In 組成比を有する InGaIn 層 3 4 a、3 4 b、3 4 c を挿入することにより作製することができる。このように、障壁層を 3 層以上の構成としても何ら問題はない。

【0061】

なお、図 7～図 9 の窒化物半導体レーザ素子は、上述したタイプ A とタイプ B との関係のように層順を反転させてもよい。

【0062】

〈窒化物半導体発光素子への As または P の添加〉

窒化物半導体発光素子に As を添加する場合は  $AsH_3$  (アルシン) または  $TBAAs$  (トリブチルアルシン) を、P を添加する場合は  $PH_3$  (ホスフィン) または  $TBPH_3$  (トリブチルホスフィン) を、それぞれ用いることができる。また、窒化物半導体の N 原料として、 $NH_3$  以外にジメチルヒドラジンを用いることもできる。

【0063】

窒化物半導体発光素子に添加される As または P の添加量 (組成比) は、ある窒化物半導体層に含有された As または P の総和の組成比を X とし、同じくある窒化物半導体層に含有された N の組成比を Y とするとき、X は Y よりも小さく、 $X/(X+Y)$  は 0.3 (30%) 以下であり、好ましくは 0.15 (15%) 以下である。また、As または P の総和の下限値は  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  以上である。

【0064】

As または P の総和の組成比 X が 15% よりも高くなると、窒化物半導体層内のある領域毎に As または P の組成比の異なる濃度分離が生じる可能性が高いため好ましくない。更に、As または P の総和の組成比 X が 30% よりも高くなると、濃度分離から六方晶系と立方晶系が混在する結晶系分離に移行しやすくなって結晶性が低下してしまうため好ましくない。一方、As または P の総和の添加量が  $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$  よりも小さくなると、例えば、後述する発光層に As または P が含有されたことによる効果が得られにくくなる。

【0065】

As または P の少なくとも何れかが発光層に添加されると、発光層の電子とホールの有効質量を小さく、また電子とホールの移動度を大きくすることができる。前者は少ない電流注入量でレーザ発振のためのキャリア反転分布が得られることを意味し、後者は発光層で電子とホールが発光再結合によって消滅しても新たに電子・ホールが拡散により高速に注入されることを意味する。即ち、発光層に As または P のうち何れも含有しない InGaIn 系窒化物半導体レーザ素子と比べてさらに閾値電流密度が低く、自励発振特性 (雑音特性) に優れた窒化物半導体発光素子を作製することができる。

【0066】

また、As または P のうち少なくとも何れかは、上記の発光層以外の層、例えば、光ガイド層、クラッド層、コンタクト層、クラック防止層にも用いることができる。

【0067】

〈半導体光学装置への応用〉

以下に、窒化物半導体レーザ素子を半導体光学装置に利用する実施例について説明する。窒化物半導体レーザ素子は、レーザ発振閾値電流密度が低い (発光効率が低い) ことから低消費電力且つ携帯性に優れた高密度記録再生用光ディスク装置の光ピックアップとして好適に使用できる。

【0068】

図 10 は、窒化物半導体レーザ素子を搭載した DVD 装置の部分概略構成図である。光ピックアップ 49 に内に設けられた窒化物半導体レーザ素子からなるレーザ発振器 40 から発振されたレーザ光は、入力情報に応じて光変調器 41 で変換され、スプリッター 42、追従鏡 43、レンズ 44 を通してディスク 45 上に記録される。ディスク 45 はモーター 46 によって回転される。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 9 】

再生時は、ディスク 4 5 上のピット配列によって光学的に変化を受けたレーザ光がレンズ 4 4、追従鏡 4 3、スプリッター 4 2を通して光検出器 4 7で検出され、再生信号となる。これらの動作は制御回路 4 8によって制御される。なお、レーザ出力は、通常、記録時は 3 0 m Wで、再生時は 5 m W程度である。

## 【 0 0 7 0 】

本発明の窒化物半導体発光素子は、上記の光ピックアップ 4 9を有する光ディスク装置の他に、例えば、レーザプリンター、バーコードリーダー、光の三原色レーザによるプロジェクター等にも利用可能である。更に、窒化物半導体発光素子を発光ダイオードやスーパーミネッセントダイオードとすることにより、高輝度白色光源装置として利用することができる。

10

## 【 0 0 7 1 】

## 【発明の効果】

本発明によると、井戸層は、不純物がドーブされていない I n G a N層であり、少なくとも井戸層に挟まれた障壁層は、井戸層の I n組成比と異なる I n G a N層と、G a N層とを含み、I n G a N層が一方の井戸層に接し、G a N層がもう一方の井戸層に接することにより、発光効率を向上させるとともに、閾値電流密度の低い窒化物半導体発光素子を提供することができる。

## 【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の窒化物半導体発光素子の構成を示す概略断面図である。

20

【図 2】本発明のタイプ A の発光層の断面図である。

【図 3】本発明のタイプ B の発光層の断面図である。

【図 4】本発明のタイプ A の発光層のバンドダイヤグラムである。

【図 5】本発明のタイプ B の発光層のバンドダイヤグラムである。

【図 6】種々の窒化物半導体発光素子の E L 発光スペクトルを示す図である。

【図 7】本発明の他の窒化物半導体レーザ素子の発光層のバンドダイヤグラムである。

【図 8】本発明の他の窒化物半導体レーザ素子の発光層のバンドダイヤグラムである。

【図 9】本発明の他の窒化物半導体レーザ素子の発光層のバンドダイヤグラムである。

【図 1 0】本発明の窒化物半導体レーザ素子を搭載した D V D 装置の部分概略構成図である。

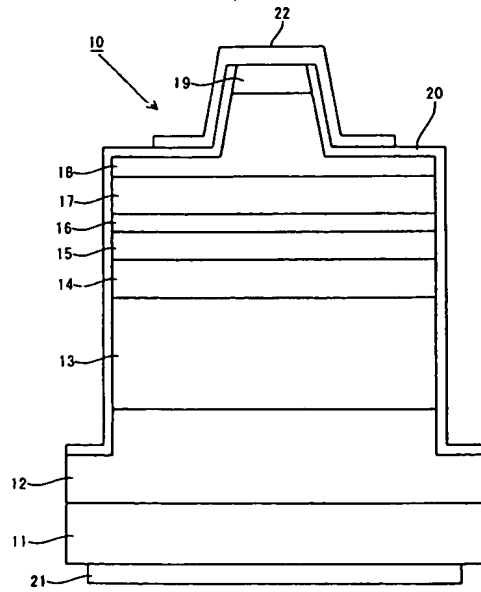
30

【図 1 1】従来の窒化物半導体レーザ素子の発光層のバンドダイヤグラムである。

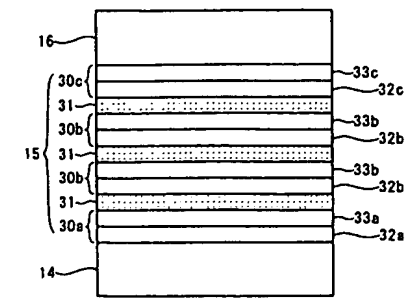
## 【符号の説明】

- 1 0 窒化物半導体発光素子
- 1 5 発光層
- 3 0 a ~ c 障壁層
- 3 1 井戸層
- 3 2 a ~ c n 型 G a N 層
- 3 3 a ~ c I n G a N 層

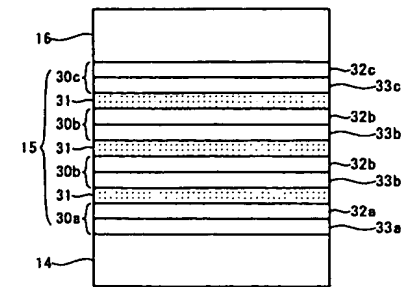
【図 1】



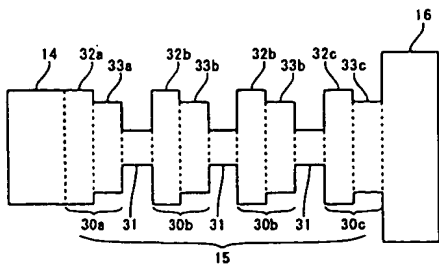
【図 2】



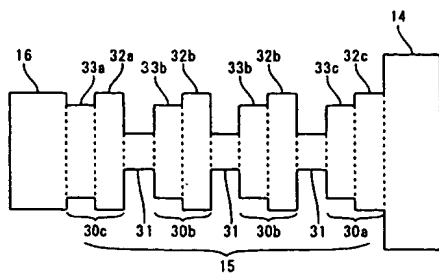
【図 3】



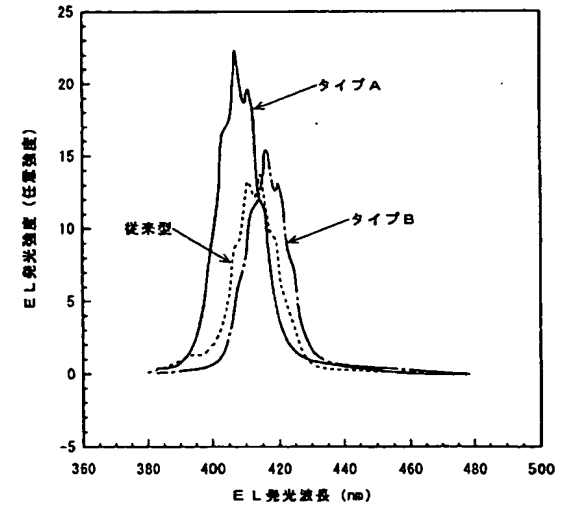
【図 4】



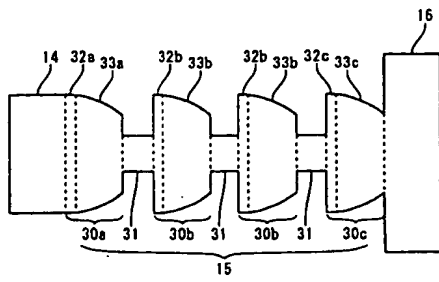
【図 5】



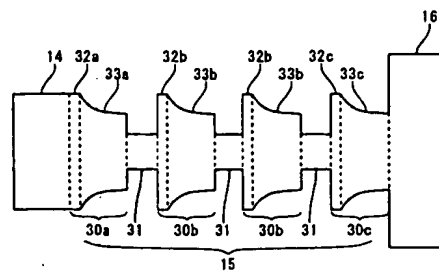
【図 6】



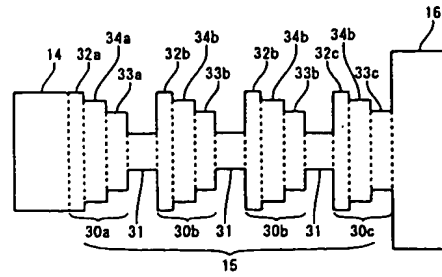
【図 7】



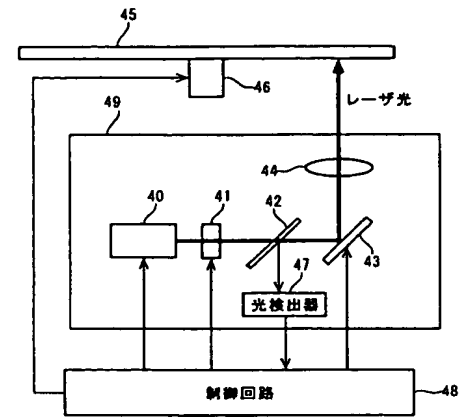
【図 8】



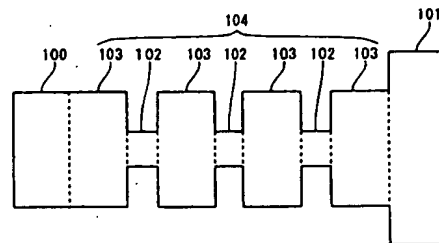
【図 9】



【図 10】



【図 11】



---

フロントページの続き

(72)発明者 湯浅 貴之

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

(72)発明者 伊藤 茂稔

大阪府大阪市阿倍野区長池町 2 2 番 2 2 号 シャープ株式会社内

F ターム(参考) 5F041 AA08 CA03 CA05 CA40 CA65 CA92 CA98 CB02 CB04 CB11  
5F045 AB14 AB17 AD11 AD12 AD13 CA10 CA11 CA12 DA55  
5F073 AA01 AA45 AA52 AA75 AA76 AA77 AA84 BA05 CA02 CA07  
DA05 DA30 EA07 EA23